

Disseny i implementació d'un equip de test funcional per al mòdul BMS.

Roger Marsal Roig

Enginyeria en Automàtica i Electrònica Industrial

Resum

El principal objectiu d'aquest projecte és el de dissenyar i implementar un equip capaç de testear un mòdul electrònic d'automoció anomenat BMS (Battery Monitoring System).

Aquest projecte està concebut dins una empresa auxiliar de l'automoció, HIGHTRÒNIC SL, especialitzada en el disseny i fabricació d'equips i estacions per a l'electrònica de l'automòbil.

Aquest equip va col·locat al final de la línia de producció d'un dels principals fabricants d'electrònica per automoció. El mòdul que aquest equip testea s'anomena BMS.

Aquest mòdul electrònic s'encarrega d'observar durant tota la vida del vehicle la bateria. Mitjançant algorismes variats, el mòdul és capaç de determinar la vida restant de la bateria. Un cop el mòdul determina que la bateria necessita ser reparada o canviada informa a l'usuari del cotxe d'aquest fet.

La realització d'aquest equip ha comportat primerament fer un disseny general de l'arquitectura de l'equip. Un cop s'ha pensat l'arquitectura de l'equip s'han buscat els instruments més adequats per realitzar el test. Posteriorment s'ha dissenyat com aniria cablejat l'equip.

Els alts corrents que s'han de simular ha fet necessari el disseny i implementació d'un rack de targetes capaç de commutar corrents de fins 70A, així com un protocol de comunicacions per tal de controlar el rack.

Finalment l'equip es va presentar al client i es va realitzar una posta en funcionament que va durar set mesos i una formació d'una setmana al personal del client.

1. Introducció

Aquest projecte mostra les solucions aportades per a la consecució del projecte del test del BMS. El gruix important d'aquest projecte es centra en el disseny d'una arquitectura capaç de testear el mòdul i també en la creació d'un rack capaç de commutar senyals de fins a 70A en DC (són senyals que simulen els corrents de la bateria).

Un cop definida l'arquitectura de l'equip i definits els instruments utilitzats, aquest projecte també inclou el disseny dels diagrames de flux del software del PC per tal

de testear correctament el mòdul i mostrar les dades correctes a l'operari de la màquina.

Actualment aquest equip està funcionant en les instal·lacions del client i té capacitat per produir 250.000 peces anuals.

2. Objectius

Disseny general de l'equip a partir de les especificacions de client.

Analitzar les especificacions de client i a partir d'aquí traçar una estratègia de test pel mòdul BMS. Aquesta és la primera fase del projecte.

L'objectiu principal d'aquesta fase és el d'acordar una estratègia de test.

Escollir els instruments necessaris per realitzar el test, en funció de les prestacions i del preu de cadascun.

Un cop definida l'estratègia de test, s'ha de definir quins instruments s'han d'utilitzar, així com quines prestacions mínimes han de tenir. Un cop analitzat això, s'ha de veure quin fabricant utilitzar en funció de les prestacions aportades i del preu que tingui l'instrument.

Dissenyar el cablejat de l'equip.

Un cop es coneixen els instruments que s'utilitzaran, decidir com es cablejaran i com s'interconnectaran cadascun dels mòduls o instruments comprats. Aquest disseny es realitzarà amb el programa ELCAD i posteriorment serà implementat pel departament de tècnics elèctrics de l'empresa Hightronic.

Disseny del rack de potència.

A part dels instruments que es compraran, el projecte requereix d'un rack que permeti commutar els senyals de gran potència (70 A, en DC) que s'han de manipular en l'equip.

Aquest rack estarà compost per una targeta controladora que s'encarregarà de les comunicacions i varies targetes esclaves que s'encarregaran de les commutacions.

Disseny i implementació del hardware de les targetes de commutació.

Disseny dels esquemes de les targetes de commutació, mitjançant l'eina Protel DXP de la casa Altium. Disseny dels esquemes de la targeta controladora del rack, mitjançant la mateixa eina.

Realització del layout de les targetes, i també dels arxius Gerber per poder-les fabricar.

Disseny i implementació de la capa de software de les targetes de commutació.

Disseny i realització de la capa de software del microprocessador de les targetes esclaves de commutació. Aquest firmware ha de ser capaç de realitzar totes les funcions que siguin requerides pel PC.

Disseny del protocol de comunicacions.

Disseny i realització de la capa de protocol per tal d'intercanviar dades entre el PC i el rack de potència. La capa física serà sobre el bus USB. A partir d'aquí s'ha de dissenyar el protocol a utilitzar.

Aquest disseny afecta majoritàriament al software de la targeta controladora del rack de potència i al software del PC.

Dissenyar la seqüència de test a realitzar, perquè així el departament d'informàtica pugui implementar-la en VBàsic.

Segons l'estratègia definida en el punt 1 dels objectius, crear un diagrama de flux per tal de realitzar el test. Aquest diagrama ha de ser bastant detallat per tal de facilitar la tasca al departament d'informàtica de Hightronic que és qui implementarà el diagrama de flux.

Realitzar la posta en funcionament.

Un cop implementada la seqüència de test per l'equip d'informàtica, realitzar una primera posta en funcionament abans de portar l'estació al client. Aquesta es realitzarà amb peces patró que el client ens facilitarà.

Posteriorment es portarà l'estació al client i allí es farà la posta en funcionament definitiva.

Realitzar la documentació final de l'equip.

Finalment un cop el client aprovi el funcionament de l'equip, es tancarà correctament tota la informació i se'n lliurarà una còpia al client.

3. El mòdul electrònic BMS.

El mòdul BMS és un mòdul electrònic per automoció que va col·locat al pol negatiu de la bateria, és a dir, en el born de retorn de tot el cotxe a la bateria.

Aquest mòdul s'està produint actualment pel model Q5 de la casa Audi i pel model Panamera de la casa Porsche.

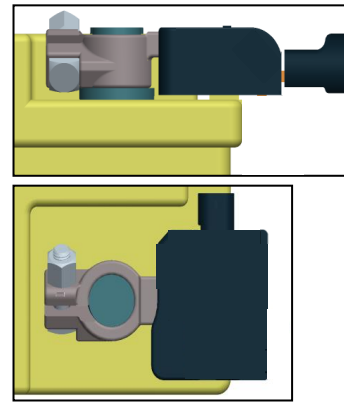


Fig. 1. Col·locació del mòdul BMS en el vehicle

Aquest mòdul electrònic mesura 3 variables de la bateria:

- **Voltatge:** Monitoritza la tensió que té la bateria entre els seus dos pols.
- **Corrent:** Mesura el corrent que està entregant la bateria a la xarxa elèctrica del cotxe.
- **Temperatura:** Mesura la temperatura del pol negatiu de la bateria.

A partir de la monitorització d'aquestes tres mesures al llarg de la vida del vehicle, el mòdul disposa d'uns algorismes implementats en el microcontrolador intern que són capaços de determinar l'estat actual de la bateria.

El mòdul disposa d'un controlador de bus LIN v2.0 a través del qual el BMS es comunica amb la resta del vehicle i si el mòdul detecta que la bateria ha de ser reparada o canviada el vehicle informa a l'usuari d'aquest fet per tal de que es dirigeixi al taller.

En la figura 2 es pot veure un diagrama de blocs on es mostren les diferents parts que componen el mòdul electrònic.

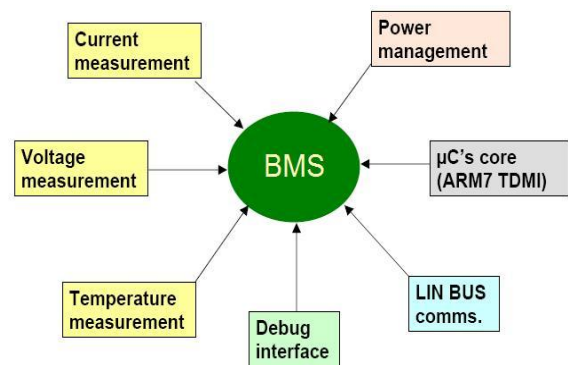


Fig. 2. Diagrama de blocs del mòdul BMS

Tal com es mostra en la figura 3, el mòdul BMS va col·locat en sèrie amb la bateria de forma que tot el retorn del cotxe (anomenat KL31) passa a través d'ell. D'altra banda el mòdul s'alimenta a través del pol positiu de la bateria (anomenat KL30).

Finalment el mòdul disposa d'un pin per a la comunicació LIN v2.0, amb el qual el mòdul es comunica amb la resta del vehicle.

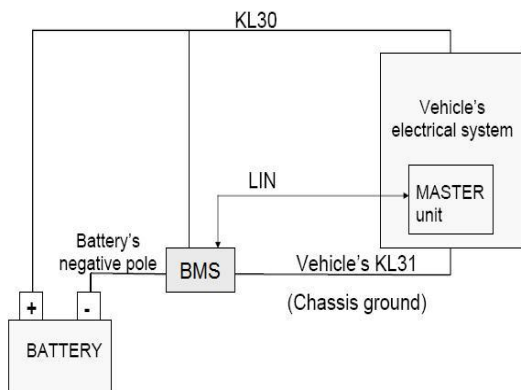


Fig. 3. Connexionat del mòdul BMS

Per últim comentar una sèrie de característiques que el client final (Porsche i Audi) han demanat que ha de suportar el mòdul BMS:

- **Elèctriques:**
 - Funcionament continu fins a 180A @40°C i fins a 80^a @85°C.
 - Capaç de suportar pics de corrent de 500A60 @125°C durant 1.8 segons.
- **Tèrmiques:** Funcionament correcte des de -40°C fins a 125 °C.
- **Mecàniques:** Ha de ser capaç de suportar fins a 250N de tensió en qualsevol dels eixos de coordenades.
- **Altres:** Ha de comunicar-se mitjançant el protocol de comunicació LIN v2.0

4. L'estació de test

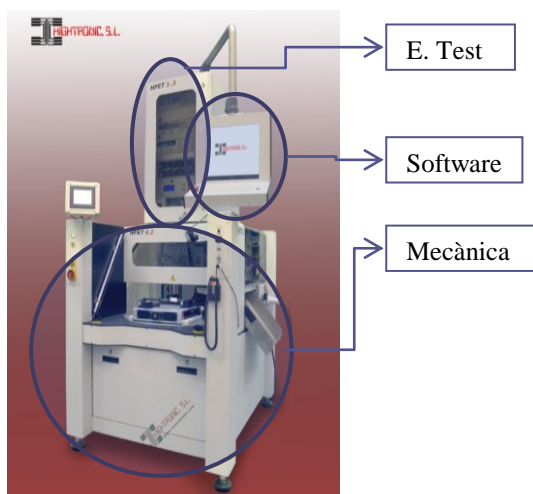


Fig.4. Imatge de l'estació de test del BMS.

Com que aquest projecte s'ha realitzat en una empresa i es tracta d'un projecte de gran envergadura hi ha hagut tot un

equip de persones implicades per la consecució del mateix objectiu: l'estació de test del BMS.

Podem dividir les tasques realitzades per la creació d'aquesta illa de treball en tres: mecànica, equip de test i software informàtic. Aquest projecte final de carrera es centra en el disseny i implementació de l'equip de test, és a dir, en la electrònica que serà capaç de testear el mòdul BMS.

5. Arquitectura de l'equip

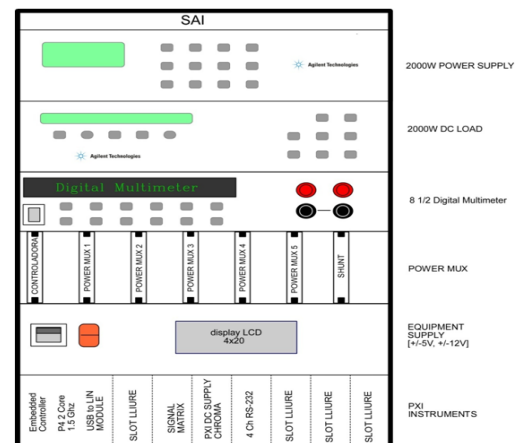


Fig. 5. Elements de l'equip de test implementat

En la figura 5 es poden observar els diferents instruments i elements que conformen l'equip implementat per realitzar el test del BMS.

A part dels elements mostrats en la figura, l'equip també inclou un mòdul convertidor de bus USB a bus LIN v2.0 i també un sensor de temperatura piroelèctric que es controla pel bus USB del PC.

Aquests instruments s'utilitzen per crear diferents situacions de test al mòdul que s'està testejant i per avaluar si les diferents reaccions del mòdul segueixen les especificacions el client o no.

Les situacions que es pretenen simular es divideixen en la part d'alta potència (o High Power Path) i la part de senyal o baixa potència (o Low Power Path).

Per la part d'alta potència s'ha dissenyat una arquitectura que força una sèrie de corrents programables (amb la càrrega electrònica) que es fan passar a través del mòdul BMS que s'està testejant. Aquests corrents simulen els que subministraria la bateria del vehicle. A través de les dues Shunts de que disposa l'equip de test, aquest es capaç de saber amb molta exactitud el corrent real que està passant pel circuit. Aquesta arquitectura es pot veure en la figura 6.

Per la part de baixa potència s'ha dissenyat una arquitectura que mitjançant la matriu de senyal el multímetre realitza lectures de tensió i de corrent que està consumint l'electrònica de control del mòdul que s'està testejant. En la figura 7 es pot observar l'arquitectura de la part de baixa potència.

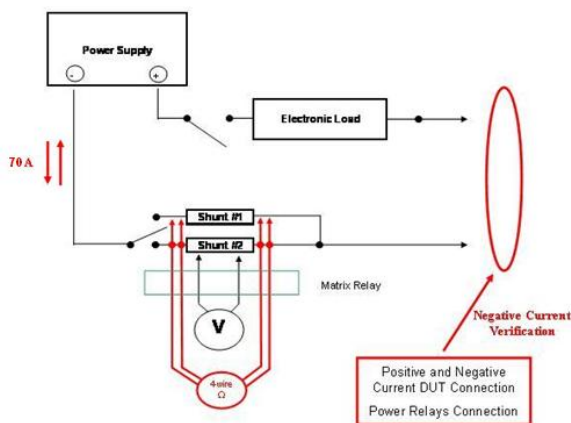


Fig. 6. Arquitectura de la part d'alta potència

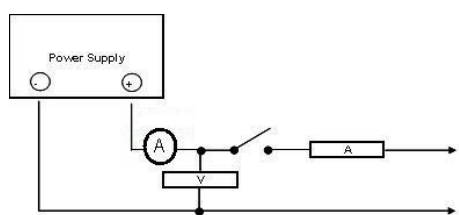


Fig. 7. Arquitectura de la part de baixa potència

5. Cablejat de l'equip

Un cop explicat l'arquitectura que es vol aconseguir, explicar breument com s'han interconnectat els diferents elements per tal d'aconseguir l'arquitectura explicada en el punt anterior.

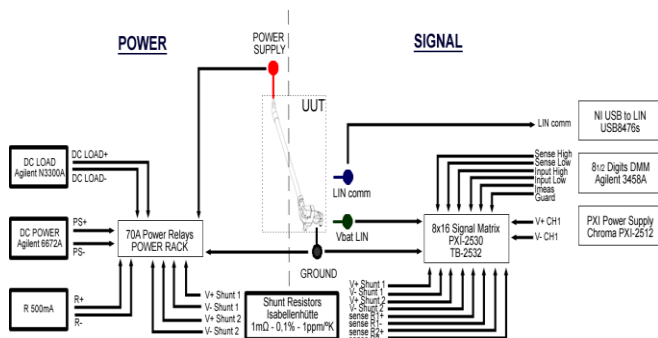


Fig. 8. Cablejat implementat.

En el centre de la figura 8 hi ha el mòdul BMS a testear amb els seus 4 pins. A l'esquerra de la imatge s'ha dibuixat la implementació del cablejat pel test de potència i a la dreta de la imatge s'ha dibuixat el cablejat pel test de senyal.

6. Rack de potència

El rack de potència és l'element central del test de la banda de potència. Aquest és l'encarregat de commutar els senyals d'elevat corrent (fins a 70 amperis en DC) que s'utilitzen per simular els corrents de la bateria.

A més aquest rack també conté les dues resistències Shunts que l'equip utilitza per saber quin és el corrent real que travessa la peça que s'està testejant.

Una altre objectiu important que té el rack de potència és el d'aconseguir invertir el signe del corrent que travessa la peça. Per fer-ho s'utilitzen un conjunt de relés que inverteixen la polaritat del mòdul que s'està testejant i d'aquesta forma el corrent que el travessa té el sentit oposat.

Això s'ha dissenyat així perquè la càrrega electrònica utilitzada és incapaç de forçar corrents negatius i per tant s'ha hagut d'implementar per hardware el signe del corrent.

El rack de potència està controlat per la targeta controladora del rack. Aquesta targeta està col·locada en l'slot 1 del rack i es connecta via USB amb l'ordinador. Aquesta targeta fa de buffer de dades i interpreta les ordres que rep des del PC.

Posteriorment transmet les ordres adients a la resta de les targetes del rack a través del el bus CAN que les uneix totes.

Les targetes commutadores són un grup de cinc targetes que van inserides en el rack i cadascuna d'elles està formada per dos relés de potència. Aquestes PCBs estan realitzades en un gruix de 70 micres ja que han de suportar alts corrents.

Aquestes targetes reben les ordres de la controladora a través del bus CAN i realitzen les accions pertinents. Un cop realitzada l'acció envien un acknowledge a la controladora perquè sàpiga que l'acció ha estat realitzada correctament.

Destacar que el rack de potència disposa d'un sistema d'autocomprovació de forma que ell mateix es capaç de comprovar la seva pròpia integritat, és a dir, si tots els elements que el conformen funcionen correctament.

En la figura 9 es pot observar l'arquitectura del connexionat intern que s'utilitza en el rack de commutació. La referència HT-USB2CAN Controller és la controladora del rack i va connectada a través de l'USB amb el PC de l'equip. Les fletxes negres de la figura simbolitzen el bus CAN intern del rack.

En la figura 10 es pot observar una imatge frontal del rack finalment implementat.

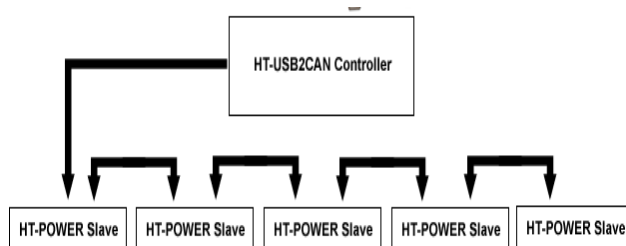


Fig. 9. Diagrama del connexionat del rack

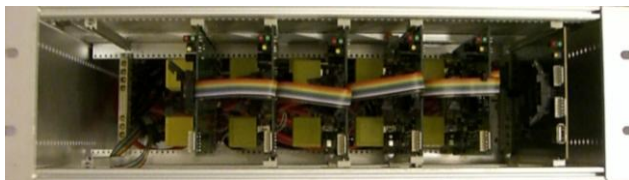


Fig. 10. Imatge frontal del rack

7. Seqüència de test

Un cop definit tots els components de l'equip i definida la interconnexió entre ells, s'ha dissenyat l'estratègia de test que es seguirà per tal de discernir si un mòdul produït és funcionalment correcte o no.

Aquesta estratègia consisteix en sis passos fonamentals. Abans de realitzar aquests sis passos es realitza una autocomprovació de l'equip de test per tal de verificar la integritat de l'equip abans de començar el test. Si l'equip funciona correctament comença el test. L'autocomprovació duraa l'entorn de 1,5 segons. Posteriorment comença el test. Aquest es compon dels següents passos:

- **Module availability:** On s'alimenta el mòdul i es testeja que la comunicació LIN funciona correctament.
- **Calibration:** que són un conjunt de tests que serveixen per verificar que el mòdul està a punt per ser calibrat, és a dir, es comprova que el mòdul és capaç de llegir correctament totes les variables externes (tensió i temperatura) perquè així posteriorment sigui capaç de calibrar-se correctament.
- **Current calibration:** són un conjunt d'accions que serveixen per calibrar la peça. Per fer-ho es requereix fer passar diferents corrents en els dos sentits i informar la peça del corrent que li està circulant i d'aquesta forma la peça sota test s'autocalibra.
- **Verification:** Un cop la peça ha estat calibrada s'han de realitzar un conjunt de tests per comprovar que la peça és capaç de llegir correctament el corrent. Per fer-ho es fan passar diferents corrents en els dos sentits per tal de comprovar que el mòdul els llegeix correctament.
- **BMS Functionality:** On es comprova que el mòdul a part de ser capaç de llegir correctament totes les variables (temperatura, tensió i corrent) també sigui capaç de funcionar correctament, és a dir, comprovar per exemple que el mòdul sigui capaç de posar-se en mode 'Sleep' en el moment correcte, que sigui capaç de fer un Wake-Up en el moment correcte, que els consums siguin els adequats en cadascun dels estats, etc.
- **Identification data:** Per últim s'enregistren una sèrie de paràmetres a la EEPROM del mòdul segons especifica el client. Aquestes dades fan referència a la versió del software enregistrada i a altres dades de traçabilitat de manufactura que el client final (Porsche i Audi) demanen per poder identificar una peça en concret.

En la figura 11 es mostra un diagrama de flux que representa la seqüència:

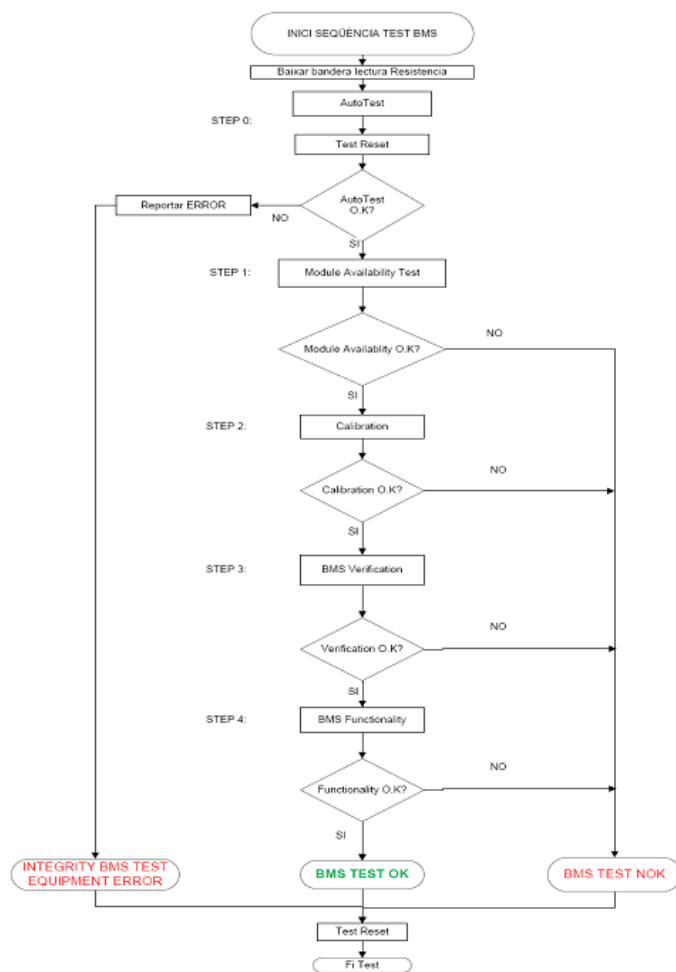


Fig. 11. Diagrama de flux

8. Posada en funcionament

Un cop implementat tot el sistema es van dur a terme alguns petits tests en les instal·lacions de Hightronic i posteriorment es va portar l'estació a la línia de producció del client per tal de realitzar la posta en funcionament.

La posta en funcionament de l'estació va durar uns set mesos que ens van servir per solucionar tota mena de problemes i obstacles per tal de funcionés de forma òptima i estable en la línia de producció.

En aquesta secció m'agradaria detallar alguns d'aquests problemes amb que ens vam trobar a l'hora de realitzar la posta en funcionament.

El primer problema que ens vam trobar va ser amb la mesura de temperatura del pol negatiu de la peça. Teníem una deriva de uns 2°C respecte de la mesura que feia el mòdul. Primer creiem que era degut a que la peça que estàvem fent servir estava malament però en adonar-nos que amb totes les peces teníem aquesta deriva vam comprovar amb una sonda de precisió quina era la temperatura real. Llavors ens vam adonar que la temperatura que llegíem amb el sensor era 2° superior a la temperatura real. Primerament

vam creure que aquest error era degut a la posició del sensor, ja que aquest ha d'estar col·locat a una distància i d'una forma determinada per poder llegir correctament la temperatura del cos. Però finalment vam descartar aquesta opció ja que vam comprovar la seva col·locació i aquesta era correcta. Finalment després de dies d'investigació i de trucades amb el proveïdor (CALEX) vam arribar descobrir quina era la errada.

L'error va ser que en les primeres peces que el client va produir es va utilitzar un determinat aliatge de llautó amb estany en unes determinades proporcions i en les peces finalment produïdes havien canviat els percentatges de l'aliatge del pol negatiu de la peça i per aquest motiu el sensor prenia mesures errònies. Finalment vam ajustar els paràmetres necessaris (l'emissivitat) i les mesures van ser molt precises.

Posteriorment un altre problema amb el que ens vam trobar va ser amb la calibratge de la peça. El test que es duia a terme no era capaç de calibrar correctament la peça. No sabíem ben bé perquè passava, ja que l'equip seguia la seqüència d'accions tal i com el client ens havia indicat. El primer que vam fer va ser comprovar pas per pas que l'equip funcionava correctament i vam veure que es comportava correctament.

Finalment vam deduir que la seqüència de test era errònia i que el mòdul en el moment de la calibratge necessitava que a més d'enviar-li l'ordre de calibratge també necessitava que se li envies l'ordre de fer una lectura del corrent i d'aquesta forma ell era capaç de calibrar-se, sinó no realitzava l'acció.

Un cop vam tenir una aplicació estable i operativa llavors vam centrar-nos juntament amb els tècnics de producte i de manufactura del client a intentar disminuir el temps de test ja que l'estació tenia un temps de test de quasi un minut i ho havíem d'aconseguir reduir fins a 30 segons per exigències de producció. Durant un mes vam estar treballant amb la seqüència de test per mirar de reduir al màxim el temps de test. Una de les millores més importants que vam fer va ser la creació de dos fils d'execució, un s'encarregava de la mesura de les resistències shunt (que durava uns 15 segons) i l'altre fil s'encarregava d'anar realitzant el test de forma que al fer operacions en paral·lel vam aconseguir reduir bastant el temps de test. L'inconvenient va ser que vam tenir que crear tota una estructura de senyals de sincronització per tal que els dos fils d'execució funcionessin correctament i es sincronitzessin correctament.

Un cop enllestida la feina vam realitzar una formació de dues setmanes als operaris.

En total la posta en funcionament de l'estació va durar des del gener de 2008 fins a l'agost del mateix any, és a dir, un total de vuit mesos intensos i de gran aprenentatge.

7. Conclusions

Primerament remarcar que s'han assolit tots els objectius establerts inicialment i que es van fixar en iniciar aquest projecte l'any 2007.

Cal destacar que els coneixements obtinguts en les assignatures de segon cicle m'han ajudat molt per a la consecució dels objectius plantejats i en saber el camí a triar durant la realització d'aquest treball. Més específicament, les assignatures de XACI (Xarxes de Comunicacions Industrials) i l'assignatura de SIED (Sistemes Electrònics Digitals). Va ser en l'assignatura de XACI on vam treballar exhaustivament els busos de comunicacions com el CAN (molt utilitzat en aquest projecte) i d'altres com el bus profibus, que és un bus molt semblant al modbus que també ha estat utilitzat en aquest projecte. D'altra banda en l'assignatura de SIED se'ns van donar coneixements d'electrònica molt útils pel desenvolupament del hardware de les targetes de commutació.

Finalment comentar que tot i que s'han assolit els objectius plantejats hi ha possibles millores a realitzar que farien més productiva l'estació de treball.

D'una banda, es podria fer un estudi per tal d'intentar reduir el temps total de test, ja que actualment el temps de test és de 28 segons i fent un estudi d'algunes funcions tant del PC com del hardware es podrien reduir alguns segons, fet que farà pujar la producció significativament.

D'altra banda una altra millora possible de l'equip de test consisteix en millorar l'aplicació del PC. en el sentit de que l'usuari sigui capaç de seqüenciar els tests al seu gust, sense haver de retocar el codi font de l'aplicació. És a dir, es tractaria de dissenyar un seqüenciador de forma que l'usuari podrà retocar i ampliar la seqüència de test. L'ús d'aquesta aplicació també ens ajudaria a aconseguir un temps de test més òptim a més de poder realitzar un test més versàtil, més complet i més modular.